



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Übersetzung der  
europäischen Patentschrift**

⑪ **EP 0 704 661 B 1**

⑩ **DE 695 19 354 T 2**

⑨ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 25 B 19/00**  
F 17 C 9/00  
F 25 D 29/00

⑳ Deutsches Aktenzeichen: 695 19 354.6  
⑨⑤ Europäisches Aktenzeichen: 95 115 462.4  
⑨⑤ Europäischer Anmeldetag: 29. 9. 1995  
④⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA: 3. 4. 1996  
④⑦ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 8. 11. 2000  
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 17. 5. 2001

⑳ Unionspriorität:  
312921 30. 09. 1994 US  
⑦③ Patentinhaber:  
Praxair Technology, Inc., Danbury, Conn., US  
⑦④ Vertreter:  
Schwan Schwan Schorer, 81739 München  
④④ Benannte Vertragsstaaten:  
DE, ES, FR, GB, IT

⑦② Erfinder:  
White, Norman Henry, East Amherst, New York  
14051, US

⑤④ Abgabevorrichtung mit Unterkühler für Kryoflüssigkeit

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann Jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**DE 695 19 354 T 2**

**DE 695 19 354 T 2**

21.12.00

EP 95 115 462.4

(Deutsche Übersetzung gemäß Art. II §3 IntPatÜG)

### Abgabevorrichtung mit Unterkühler für Kryoflüssigkeit

5.

#### Gebiet der Erfindung

Diese Erfindung bezieht sich auf ein kryogenes Verbrauchssystem gemäß dem Oberbegriff aus Anspruch 1 bzw. auf eine In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß dem Oberbegriff aus Anspruch 6.

#### Hintergrund der Erfindung

- 10 FIG. 1 stellt ein konventionelles Kühlsystem 10 (d.h. einen Gefrierer) dar, der typisch für eine Verwendungsstelle ist, an der die Erfindung zur Anwendung kommen kann. Es ist ein Förderband 12 beinhaltet, auf dem zu kühlendes Material 13 transportiert wird. Das Förderband 12 ist innerhalb eines Gefrierabteils 14 angeordnet und weist einen vom Anwender steuerbaren Antrieb mit variabler Geschwindigkeit auf. Ein flüssiges Kryogen (z.B. Stickstoff) wird durch eine Anzahl an auf Verteilerrohren 16 angebrachten
- 15 Düsen auf das Produkt 13 aufgesprüht, wobei die Rohre entlang des Weges des Bandes 12 positioniert sind, das sich in dem in FIG. 1 illustrierten Beispiel von rechts nach links bewegt. Es wird ausreichend Stickstoff in das Gefrierabteil 14 gesprüht, um unter Verwendung eines Temperaturreglergeräts und -steuerventils die Temperatur auf einem eingestellten Wert zu halten. Im Gefrierabteil 14 verteilt sind Ventilatoren 18 zur Zirkulation der Gasatmosphäre angeordnet. Ein Entlüftungsventilator 20 lässt das
- 20 Stickstoffgas außerhalb der Anordnung ab.

Die Temperatur des Produkts 13 wird typischerweise alle 30 Minuten gemessen, um sicher zu stellen, dass sie in einem akzeptablen Bereich liegt. Nach der Entnahme der periodischen Messung wird die interne Gefrierapparattemperatur und manchmal die Geschwindigkeit des Bands 12 eingestellt, um das Produkt 13 innerhalb eines voreingestellten Temperaturbereichs zu halten. Die typischen Verweilzeiten im Gefrierabteil 14 betragen von 3 bis 30 Minuten und die zur Temperaturmessung benötigte Zeit des eingebrachten Produkts beträgt 10 Minuten oder länger. Somit basiert jede Veränderung der internen Temperatur in dem Gefrierabteil 14 auf Bedingungen, die etwa 13 bis 40 Minuten vorher vorgelegen haben. Aus diesen Gründen ist es erforderlich, die Betriebsparameter in dem Gefrierabteil 14 so konstant wie möglich zu halten. Diese Parameter beinhalten:

- 30 (1) Bedingung und Temperatur des flüssigen Einlassstickstoffs  
(2) Temperatur des eingebrachten Produkts 13;  
(3) Abstandsanordnung des Produkts 13 auf dem Band 12;  
(4) Geschwindigkeit der sich drehenden Ventilatoren 18;  
(5) Geschwindigkeit des Bands 12; und
- 35 (6) Ablassrate des Entlüftungsventilators 20.

Mit Ausnahme der Temperatur des flüssigen Einlass-Stickstoffs unterliegen all diese Parameter der Steuerung des Anwenders. Somit ist es von Bedeutung, dass das Kühlsystem eine Anordnung zum Steuern des kryogenen flüssigen Stickstoffs aufweist, der in das Gefrierabteil 14 eingeleitet wird.

Flüssiger Stickstoff wird typischerweise zu einem Gefrierabteil 14 bei Temperaturen zwischen  $-185^{\circ}\text{C}$  ( $-301^{\circ}\text{F}$ ) und  $-189^{\circ}\text{C}$  ( $-309^{\circ}\text{F}$ ) geführt, was eine dreiprozentige Veränderung des Kühlwerts darstellt. Auf das Produkt aufgespritzte flüssige Stickstofftropfen sieden im Flug heftig auf, was zur einer Abkühlung des Großteils der Tropfen auf  $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-320^{\circ}\text{F}$ ) führt. Das in diesem Kühlverfahren erzeugte Gas tritt bei  $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-320^{\circ}\text{F}$ ) aus und wird zur Komponente A der Atmosphäre im Gefrierapparat, wie in FIG. 1 dargestellt. Der restliche Teil der flüssigen Stickstofftropfen landet auf dem Produkt und siedet weiter, was zu einer hohen Wärmeübertragungsrate führt. Das in diesem Siedeprozess erzeugte Gas tritt ebenfalls bei  $-196^{\circ}\text{C}$  ( $-320^{\circ}\text{F}$ ) aus und wird zur Komponente B der Atmosphäre im Gefrierapparat. Die letzte Komponente (C) der Gefrierapparaturatmosphäre ist das Eindringen von Luft von den Gefrierapparateingangs- und -ausgangsöffnungen. Ventilatoren 18 verbessern die erzwungene Konvektionswärmeübertragung von dem Produkt 13, wobei ihre Drehzahlen zur Bewerkstelligung maximaler Wärmeübertragungsraten so hoch wie möglich eingestellt sind, jedoch unterhalb einer Drehzahl, die das Produkt 13 von dem Band 12 herunterbläst.

Da die Temperatur in dem Gefrierabteil mit der Konvektionswärmeübertragung in Beziehung steht, muss bei einem Anstieg der eintretenden Stickstofftemperatur mehr Stickstoff aufgesiedet werden, um ihn selbst zu kühlen, wobei nur eine geringere Menge zur Produktkühlung zur Verfügung steht. Allerdings bleibt das gesamte Kaltgasvolumen und die für die erzwungene Konvektion verfügbare Temperatur konstant.

In FIG. 2 ist eine Sprühschiene 30 dargestellt, die ein Paar Verteilerrohre 32 aufweist, welche mit einer Mehrzahl an Düsen 34 in Verbindung stehen. Flüssiger Stickstoff wird durch einen Einlass 35 in Verteilerrohre 32 eingespeist und tritt durch Düsen 34 zu dem Produkt 13 auf dem Band 12 aus, wie in FIG. 1 dargestellt. Typischerweise werden dreißig oder mehr Düsen 34 verwendet, um das Sprühgebiet über die Breite des Bands 12 auszubreiten. Da die Wärmeübertragung in diesem Gebiet mindestens die Hälfte der gesamten Kühlung darstellt, ist es zwingend, dass der flüssige Stickstoffausgang von den Düsen 34 konstant und kontinuierlich ausfällt.

FIG. 3 illustriert einen Auftrag der Strömung aus den Düsen 34 gegenüber dem Abstand entlang der Sprühschiene 30, der zeigt, dass die näher am Einlass 35 befindlichen Düsen größere Strömungsraten als die Düsen nahe den äußersten Enden der Verteilerrohre 32 erzeugen. Eine Anzahl an Faktoren beeinflusst die relative Ablassrate an jeder der Düsen 34. Die Verteilerrohre 32 sind der Gefrierapparaturatmosphäre ausgesetzt und Wärme wird zu dem flüssigen Stickstoff bei einer ziemlich konstanten Rate pro Einheit Länge entlang den Verteilerrohren 32 übertragen. Infolgedessen steigt die Temperatur des flüssigen Stickstoffs bei seinem Durchlauf durch die Verteilerrohre 32 an. Der Temperaturanstieg wird durch den Umstand verschärft, dass der Flüssigkeitsstrom in jedem Abschnitt der Verteilerrohre 32 zwischen aufeinander folgenden Düsen geringer wird. Somit ist die pro Pfund Stickstoff absorbierte Wärme in jedem aufeinander folgenden Segment geometrisch höher. Als Folge davon nimmt die Temperatur und der Dampfdruck ebenfalls geometrisch mit jeder Düse zu. Weiterhin ist die von jeder Düse 34 abgegebene Flüssigkeit umgekehrt proportional zu dem Wärmegehalt des Stickstoffs am Einlass 35.

Die Auswirkungen der obigen Faktoren auf die Verteilung der Strömung aus den Düsen 34 ist in dem Diagramm der FIG. 4 dargestellt, welche die Strömung gegenüber der Düsenposition entlang der Verteilerrohre 32 aufträgt. Eine Kurve 40 trägt den Strömungsabfall bei einem Dampfdruck von 15 auf; eine

Kurve 42 bei einem Dampfdruck von 17 und eine Kurve 44 bei einem Dampfdruck von 19. Wie dem Fachmann bekannt zeigt ein höherer Dampfdruck das Vorliegen von Stickstoff mit höherer Temperatur an. Zu beachten ist, dass die Kurve 44 zeigt, dass die Düse F in der FIG. 2 infolge der erhöhten Temperatur des Stickstoffs vollständig von der Strömung ausgeschlossen ist. Somit bewirkt eine relativ kleine Dampfdruckveränderung am Einlass 35 den Ausschluss der Düse F und möglicherweise denjenigen weiterer Düsen, die sich näher am Einlass 35 befinden. Falls der Dampfdruck (d.h. die Temperatur) von am Einlass 35 eintretendem Stickstoff bei einem konstanten Pegel gehalten werden kann, können geeignete Sprühmuster der gesamten Länge der Verteilerrohre 32 entlang aufrechterhalten werden. Jedoch weist aus einem Reservoir zugeführter flüssiger Stickstoff Temperaturveränderungen auf, die aus zwei Gründen auftreten: (1) infolge von Variablen innerhalb des Reservoirs und (2) infolge von Verlusten, die in der Rohrleitung zwischen dem Reservoir und den Sprühschienen auftreten. In der Praxis weist der Dampfdruck von eintretendem flüssigem Stickstoff aus einem Reservoir eine signifikante Dampfdruckveränderung auf.

Beim Stand der Technik ist eine Bewältigung der Dampfdruckveränderung durch die Verwendung eines "programmierten Niederblasens" und dem nachfolgendem Druckaufbau in dem Reservoir versucht worden. Das Niederblasen bewirkt eine Druckreduktion in dem Behälter und ermöglicht das Aufsieden einer zuoberst befindlichen Schicht des flüssigen Stickstoffs sowie das Absorbieren von Wärme aus dem Körper der Flüssigkeit. Das Verfahren des Niederblasens ist ineffizient, weil die Gasphaseninhalte verloren gehen und die Wände des Behälters, die durch das Gas benetzt sind, während des Entlüftungsprozesses auf Sättigungstemperatur abgekühlt werden. Anschließend werden die Wände in dem Druck aufbauenden Prozess wieder erwärmt, was zusätzlich flüssiges Produkt verbraucht.

Zur Verwendung in kryogenen Gefriervorgängen zur Bewerkstelligung der Temperaturregelung sind verschiedene Typen von Unterkühlungsvorrichtungen vorgeschlagen worden. Eine Unterkühlungsvorrichtung ist eine Temperatur reduzierende/Dampf kondensierende Anordnung, die ein flüssiges Kryogen an ihrem Auslass in einem unterkühlten flüssigen Zustand bereitstellt, d.h. bei einem Druck, der höher als sein Gleichgewichtsdampfdruck bei derjenigen Temperatur ist, bei der das Kryogen aus der Unterkühlungsvorrichtung austritt. Die US-Patentschriften 4 296 610, Davis, und 5 079 925, Maric, offenbaren beide Unterkühlungsvorrichtungen gemäß dem Stand der Technik. Derartige Unterkühlungsvorrichtungen weisen eine Anzahl an Begrenzungen auf. Typischerweise stellen konventionelle Entwürfe für Unterkühlungsvorrichtungen keine Anordnung zum genauen Steuern der Auslass-Stickstofftemperatur und darüber hinaus keine ausreichende Kapazität für gewöhnliche Gefriervorgänge bereit. Weiterhin sind solche Unterkühlungsvorrichtungen im allgemeinen als unabhängige Strukturen entworfen und beinhalten komplizierte Rohrleitungen und Tankbehälter.

Ein kryogenes Verbrauchssystem gemäß dem Oberbegriff aus Anspruch 1 bzw. eine In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß dem Oberbegriff aus Anspruch 6 sind aus US-A-5 214 925 bekannt, die sich auf ein kryogenes Verbrauchssystem bezieht, in dem eine Zufuhrleitung mittels einer im Gleichstrom befindlichen Strömung aus kryogener Flüssigkeit durch eine Rohrschlangenleitung gekühlt wird, die bei einem geringeren Druck an ihrem stromabwärtigen Ende vorliegt. Die Strömung aus kryogener Flüssigkeit durch die Rohrschlangenleitung wird durch ein Steuerventil gesteuert, das in Abhängigkeit von der durch einen Temperaturfühler gemessenen Temperatur der Flüssigkeit in der Zufuhrleitung betrieben wird. Das

Steuerventil ist mit der Rohrschlangenleitung durch eine zusätzliche Leitung und einen Wärmetauscher verbunden. Die durch die Rohrschlangenleitung strömende Kühlflüssigkeit wird von der Zufuhrflüssigkeit bei einer Verzweigung stromauf des Steuerventils abgezweigt.

Eine Aufgabe dieser Erfindung besteht in der Bereitstellung eines verbesserten Systems, bei welchem Kryogen einer Verwendungsstelle oder einer Verbrauchsanordnung bereitgestellt werden kann, wobei die kryogene Temperatur an einem Auslass bei einer konstanten Temperatur gehalten wird.

Eine weitere Aufgabe dieser Erfindung besteht in der Bereitstellung einer verbesserten Unterkühlungsvorrichtung, die eine Temperatursteuerung eines Hauptkryogeneinsatzes ermöglicht, um einen konstanten Temperatúrauslass zu erreichen.

Eine zusätzliche Aufgabe dieser Erfindung besteht in der Bereitstellung eines verbesserten Produktkühlsystems, in dem ein konstanter Einlasskryogeneinsatz bereitgestellt ist, um eine effiziente Kühlung zu bewerkstelligen.

#### Zusammenfassung der Erfindung

Die obigen Aufgaben werden durch ein kryogenes Verbrauchssystem gemäß Anspruch 1 bzw. eine In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß Anspruch 6 bewerkstelligt.

Ein kryogenes Kühlsystem beinhaltet ein Reservoir für eine kryogene Flüssigkeit und Sprühschienen zum Bereitstellen eines Schauers aus kryogener Flüssigkeit auf ein zu kühlendes Produkt. Eine Zufuhrleitung verbindet das Reservoir mit den Sprühschienen und weist einen inneren Kanal zum Transportieren der kryogenen Flüssigkeit auf. Eine Unterkühlungsleitung mit einem größeren Querschnitt als die Zufuhrleitung ist angeordnet, um die Zufuhrleitung über einen wesentlichen Abschnitt ihrer Länge zu umgeben und dadurch dazwischen einen Strömungsbereich zu erzeugen. Eine Entlüftungsanordnung verbindet den Strömungsbereich mit einem Gebiet an niedrigem Druck in Relation zu dem Druck in der Zufuhrleitung. Ein Ventil verbindet den Strömungsbereich und den inneren Kanal der Zufuhrleitung und ermöglicht eine gesteuerte Strömung an kryogener Flüssigkeit/Dampf aus der Zufuhrleitung in den Strömungsbereich. Ein Ventilsteuergerät ist mit dem Ventil verbunden und spricht auf einen Druckunterschied zwischen dem Dampfdruck der inneren Kanalinhalte und einem Referenzdruck an, um das Ventil zu steuern und damit den durch den Strömungsbereich und die Entlüftungsanordnung fließenden Strom aus kryogener Flüssigkeit zu verändern. Eine sich ergebende Expansion der kryogenen Flüssigkeit in dem Strömungsbereich unterkühlt die kryogene Flüssigkeit in der Zufuhrleitung und erzeugt ein Kryogen mit konstanter Temperatur am Auslass.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

FIG. 1 ist eine schematische Ansicht eines typischen kryogenen Kühlsystems.

FIG. 2 ist eine schematische Ansicht einer in dem Kühlsystem aus FIG. 1 verwendeten typischen Sprühschiene.

FIG. 3 ist ein Auftrag der Strömung gegenüber dem Abstand entlang der Sprühschiene aus FIG. 2 und illustriert eine Veränderung der Strömungsraten durch entlang der Sprühschiene angeordnete Düsen.

FIG. 4 ist ein Auftrag der Düsenposition gegenüber der Strömungsrate und zeigt die Auswirkung von

Dampfdruckveränderungen auf die Düsenströmungsraten.

FIG. 5 ist eine schematische Ansicht einer Ausführungsform der Erfindung und zeigt die Anordnung einer In-Line-Unterkühlungsvorrichtung zwischen einem Kryogenbehälter und einem Kühlsystem.

FIG. 6 ist eine Teilansicht und illustriert eine in der Praxis dieser Erfindung nützliche Ausführungsform der Unterkühlungsvorrichtung.

#### Ausführliche Beschreibung der Erfindung

Bezugnehmend auf FIG. 5 ist ein Kryogen enthaltender Behälter 50 durch eine Leitung 52 (d.h. ein Rohr) mit einer Kühleinheit 90 verbunden, die ähnlich zu der in FIG. 1 illustrierten Einheit 10 ausfallen kann. Im folgenden wird das Kryogen als Stickstoff bezeichnet werden, wobei sich für den Fachmann versteht, dass die Erfindung auch mit jedem anderen Kryogen verwendbar ist (d.h. verflüssigtes Argon, Sauerstoff, Wasserstoff usw. und verflüssigte Gasgemische wie z.B. Erdgas, Luft usw.). Für die Aufrechterhaltung eines Zustroms aus flüssigem Stickstoff in die Kühleinheit 90 bei einer konstanten Temperatur wird eine In-Line-Unterkühlungsvorrichtung 54 um ein Rohr 52 angeordnet. Am Flüssigstickstoffauslass der Unterkühlungsvorrichtung 54 wird ein Steuerventil 56 vorgesehen. Am Flüssigstickstoffeinlass der Unterkühlungsvorrichtung 54 wird ein Entlüftungsrohr 58 angebracht, das mit der Atmosphäre in Verbindung steht.

Die Unterkühlungsvorrichtung 54 weist eine interne Leitung auf, die flüssigen Stickstoff in der durch einen Pfeil 60 angegebenen Richtung befördert. Eine Leitung mit größerem Durchmesser umgibt die innere Leitung und beinhaltet ein Steuerventil 56 der Unterkühlungsvorrichtung, wobei die Leitung eine Verbindung zwischen dem in Richtung 60 strömenden flüssigen Stickstoff und einem Ringraum ermöglicht, der die innere Leitung umgibt und sich nach hinten zu der Entlüftungsanordnung 58 erstreckt. Durch den gesteuerten Betrieb des Ventils 56 auf der Basis der Temperatur des ausströmenden flüssigen Stickstoffs wird ein bestimmter Teil des flüssigen Stickstoffs in den die innere Zufuhrleitung umgebenden Ringraum entlüftet und strömt in einer Gegenstromrichtung zu dem Entlüftungsrohr 58. Die wesentliche Expansion, die sich infolge dieses Entlüftungsvorgangs ergibt, steuert die Temperatur des in Richtung 60 strömenden flüssigen Stickstoffs und ermöglicht die Beibehaltung des flüssigen Stickstoffausstroms von der Unterkühlungsvorrichtung 54 bei einer konstanten Temperatur.

Der Ringraum wird bei annähernd 1 bar (0 pound pro inch<sup>2</sup> gauge (psig)) gehalten im Vergleich zu der inneren Zufuhrleitung, die bei 3,1 bis 3,8 bar (30 bis 90 psig) betrieben werden kann. Im allgemeinen können Kryogene in einem bestimmten Temperaturbereich vorliegen. Mit jeder Temperatur ist ein Dampfdruck assoziiert, welcher der für die Beibehaltung der flüssigen Phase notwendige minimale Druck ist und der mit steigender Temperatur zunimmt. Wenn der Druck unter den Dampfdruck verringert wird, siedet ein Teil der Flüssigkeit, absorbiert sensible Wärme von dem restlichen Flüssigkeitskörper und reduziert dadurch seine Temperatur. Wenn somit die Flüssigkeit von 3,1 bis 3,8 bar (30 bis 90 psig) in der inneren Zufuhrleitung zu dem Ringraum entlüftet wird, der bei nahezu 1 bar (0 psig) gehalten wird, muss ein Teil der Flüssigkeit siedend, sensible Wärme von dem restlichen Flüssigkeitskörper absorbieren und dadurch seine Temperatur reduzieren. So wird beispielsweise die Temperatur der in die Unterkühlungsvorrichtung eintretenden Flüssigkeit bei 3,1 bar (30 psig) und 88,4 K auf 77,4 K verringert werden, wenn

sie auf Atmosphärendruck, d.h. auf 1 bar (0 psig), entlüftet wird.

Bezugnehmend auf FIG. 6 werden nun Einzelheiten der Unterkühlungsvorrichtung 54 beschrieben werden. Die Bezugszeichen in der FIG. 6 entsprechen für die allgemeinen Elemente dabei denjenigen aus der FIG. 5. Allerdings ist die in der FIG. 6 illustrierte Unterkühlungsvorrichtung in der entgegengesetzten Richtung angeordnet dargestellt wie die in der FIG. 5 gezeigte Vorrichtung. Für die Zwecke der Erläuterung wird unterstellt, dass die Zustromtemperatur des flüssigen Stickstoffs  $-185^{\circ}\text{C}$  ( $-301^{\circ}\text{F}$ ) beträgt. Das Rohr 52 befördert den flüssigen Stickstoff durch die Unterkühlungsvorrichtung 54 und ist im Unterkühlungsbereich für eine verbesserte Wärmeübertragung als ein metallischer Balg 62 konfiguriert. An einem Ausstromende 63 wird das Steuerventil 56 der Unterkühlungsvorrichtung angeordnet und unter der Steuerung einer Dampfküvette 64 betrieben. Die Dampfküvette 64 enthält ein Gas, das mit dem Inneren eines Balgs 66 in Verbindung steht, der sich im Inneren des Steuerventils 56 der Unterkühlungsvorrichtung befindet. Eine Referenzdruckquelle 67 ist an den Ventileinlass 68 angeschlossen und ist mit einem umhüllten Bereich 70 verbunden, der den externen Abschnitt des Balgs 66 umgibt. Eine Bodenfläche 69 des Balgs 66 ist mit einem ventilbetätigenden Schaft 72 verbunden, der sich vertikal in oberen und unteren Schaftführungen 74 und 76 bewegt. Ein Ventilglied 78 liegt gegen ein Sitz am Boden der Schaftführung 76 an und öffnet bei einer Betätigung in nach unten weisender Richtung einen Ringraum um den Schaft 72, der eine Stickstoffströmung hinauf um den Umfang des Schafts 72 aus einem horizontal angeordneten Ventilauslass 73 und in einen ringförmigen Strömungsbereich 80 hinein ermöglicht, der das Rohr 52 umgibt. Der in den ringförmigen Strömungsbereich 80 eingeleitete Stickstoff strömt in einer Richtung entgegen dem Stickstoffstrom in dem Rohr 52, wie durch Pfeile 81 angezeigt, und wird durch eine Entlüftungsanordnung 58 zur Atmosphäre entlüftet. Die entstehende Expansion des Stickstoffs in dem ringförmigen Strömungsbereich 80 unterkühlt den in dem Rohr 52 strömenden Stickstoff.

Die Steuerung des Ventilglieds 78 erfolgt durch den Betrieb der Dampfküvette 64 in Kombination mit der Referenzdruckquelle 67. Unter der Annahme, dass der Stickstoffzustrom bei  $-185^{\circ}\text{C}$  ( $-301^{\circ}\text{F}$ ) (Dampfdruck 3,06 bar (29,7 psig)) und eine erwünschte Ausstromstickstofftemperatur bei  $-189^{\circ}\text{C}$  ( $-309^{\circ}\text{F}$ ) (Dampfdruck 2 bar (14,5 psig)) liegt, wird der Referenzdruck 67 auf den erwünschten Auslassdampfdruck von 2 bar (14,5 psig) eingestellt. Wenn die Auslassstickstofftemperatur über  $-189^{\circ}\text{C}$  ( $-309^{\circ}\text{F}$ ) und der entsprechende Dampfdruck über 14,5 psig liegt, agiert der Dampfdruck in der Dampfküvette 64 gegen den Referenzdruckbereich 70 des Ventils 56 und bewirkt ein Expandieren des Balgs aufgrund dem darin relativ höheren Druck sowie das Schieben des Schafts 72 in eine nach unten weisende Richtung. Infolgedessen bewegt sich das Ventilglied 78 nach unten, öffnet den Ringraum um den Schaft 72 und ermöglicht das Entweichen von Stickstoff durch den Ringraum und die Durchleitung 73 in den ringförmigen Strömungsbereich 80 der Unterkühlungsvorrichtung. Der in den verringerten Druck des ringförmigen Strömungsbereichs 80 (der bei Atmosphärendruck liegt) eingeleitete flüssige Stickstoff siedet heftig auf und extrahiert sowohl Wärme aus sich selbst wie Wärme des in dem Rohr 52 strömenden flüssigen Stickstoffs.

Die Expansion des Balgs ist proportional zu dem Druckunterschied zwischen der Innen- und der Außenseite des Balgs. Aus diesem Grund ist die Öffnung des Ventilglieds 78 und daher die Menge an in den Ringraum eingelassenem flüssigem Stickstoff proportional zu der Differenz zwischen dem Dampfdruck der Auslassflüssigkeit relativ zu dem Referenzdruck. Dadurch wird der Stickstoffstrom in den Ringraum

gesteuert, so dass der erwünschte Auslassdampfdruck aufrecht erhalten wird.

Infolgedessen wird ein konstanter Strom aus flüssigem Stickstoff bei  $-189^{\circ}\text{C}$  ( $-309^{\circ}\text{F}$ ) als ein Zustrom zu den Sprühschienen in der Kühleinheit 90 bewerkstelligt. Somit ermöglichen bestimmte Mengen an flüssigem Stickstoffstrom aus den Düsen wie z.B. den in der FIG. 1 dargestellten Düsen 34 eine kontinuierlich gesteuerte Produktkühlung. Die Gegenstromkühlflüssigkeit in dem ringförmigen Strömungsbereich 80 ist ein fließender Strom anstelle eines stehenden Bassins wie in konventionellen Systemen, wodurch eine verbesserte Wärmeübertragung ermöglicht wird. Da der flüssige Stickstoffstrom in dem Ringraum 80 im Gegenstrom zu dem Kryogenstrom fließt, wird das entlüftete Gas tatsächlich überhitzt, so dass annähernd 5 % weniger Gas in dem Kühlverfahren als in konventionellen Entwürfen entlüftet wird. Weiterhin kann das entlüftete Gas in einem Rohr zu der Kühleinheit 90 (in der FIG. 5 durch das gestrichelte Rohr 61 gezeigt) geführt werden, um die gesamte verfügbare Kühlung zu verwenden.

Die Konfiguration der In-Line-Unterkühlungsvorrichtung 54 ermöglicht eine wesentliche Wärmeübertragung mit geringem Druckabfall und ist derart gepackt, dass nur wenig zusätzlicher Raum notwendig ist. Weiterhin fällt der Steuerungsmechanismus kompakt aus und enthält im wesentlichen sich selbst. Die Steuerventile des in der FIG. 6 gezeigten Typs der Unterkühlungsvorrichtung können eine Steuerungsgenauigkeit innerhalb  $\pm 0,28\text{ K}$  ( $\pm 0,5^{\circ}\text{F}$ ) der erwünschten Temperatur bewerkstelligen, was eine äußerst genaue Zustromtemperatur des flüssigen Stickstoffs zu der Kühleinheit 10 ermöglicht. Die Unterkühlungsvorrichtung kann für einen weiten Bedingungs-bereich bemessen werden. Die Einlasstemperaturen können sich an die kritische Temperatur annähern und die Anlasstemperaturen können bei der Temperatur des Kryogens liegen, die mit einem Dampfdruck von 1 bar (0 psig) assoziiert ist. Außerdem kann die Strömungsrate des Produkts durch die Unterkühlungsvorrichtung in einem Bereich von 20:1 oder mehr variieren. Die Unterkühlungsvorrichtung kann zum Steuern der Einlasstemperaturen zu Pumpen, Kühlgeräten oder analytischen Instrumenten verwendet werden. Weiterhin kann die Vorrichtung für einen weiten Bereich von Strömungsraten bemessen sein, der von 0,38 bis 946 l/min (0,1 GPM bis 250 GPM (Gallonen pro Minute)) reicht.

Es versteht sich, dass die obige Beschreibung die Erfindung nur illustriert. Vom Fachmann können verschiedene Alternativen und Modifizierungen abgeleitet werden, ohne den Erfindungsrahmen zu verlassen. Obwohl beispielsweise eine Erfindungsanwendung auf ein Kühlsystem beschrieben worden ist, kann die Erfindung für jedes System verwendet werden, in dem eine Einleitung eines flüssigen Kryogens bei einer konstanten Temperatur erforderlich ist. Dementsprechend beabsichtigt die vorliegende Erfindung sämtliche derartigen Alternativen, Modifizierungen und Abänderungen zu umfassen, die in den Rahmen der beiliegenden Ansprüche fallen.



EP 95 115 462.4

Ansprüche

## 1. Kryogenes Verbrauchssystem mit:

- 5 - einem Reservoir (50) für eine kryogene Flüssigkeit;  
einer Verbrauchsanordnung (90) zur Verwendung der kryogenen Flüssigkeit;  
einer Zufuhrleitungsanordnung (52), welche das Reservoir (50) mit der Verbrauchsanordnung (90) verbindet und einen Zufuhrkanal zum Transportieren der kryogenen Flüssigkeit unter einem erhöhten Zufuhrdruck aufweist;  
10 - einer Unterkühlungsleitungsanordnung (54), die angeordnet ist, um die Zufuhrleitungsanordnung (52) über einen wesentlichen Abschnitt ihrer Länge zu umgeben und dazwischen einen Strömungsbereich (80) zu schaffen;  
einer Entlüftungsanordnung (58), welche den Strömungsbereich (80) mit einem Raum verbindet, der einen Druck aufweist, der niedriger als der Zufuhrdruck ist;  
15 - einer Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78), welche den Strömungsbereich (80) und den Zufuhrkanal der Zufuhrleitungsanordnung (52) verbindet, um einen gesteuerten Strom der kryogenen Flüssigkeit von dem Zufuhrkanal in den Strömungsbereich (80) zu erlauben, wobei kryogene Flüssigkeit, die von dem erhöhten Zufuhrdruck zu dem Raum mit niedrigerem Druck in den Strömungsbereich (80) gelangt, dazu gebracht wird, zu expandieren und kryogene Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal zu kühlen; und  
20 - einer Steueranordnung (56), die mit der Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) verbunden ist und auf eine Temperaturveränderung der kryogenen Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal anspricht, um die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) zu steuern, um einen Strom an kryogener Flüssigkeit durch den Strömungsbereich (80) zu verändern, um die kryogene Flüssigkeit bei einer konstanten Ausflusstemperatur zu halten,  
25 - dadurch gekennzeichnet, dass  
die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) ein Ventil (72, 73, 76, 78) aufweist, das innerhalb einer Öffnung angeordnet ist, die sich in der Wand des Zufuhrkanals befindet und den Zufuhrkanal und den Strömungsbereich (80) verbindet, wobei das Ventil radial bezüglich des Zufuhrkanals betätigbar ist, um den Strom an kryogener Flüssigkeit von dem Zufuhrkanal in den Strömungsbereich (80) zu steuern.  
30

## 2. Kryogenes Verbrauchssystem gemäß Anspruch 1, wobei die Entlüftungsanordnung (58) in einem Zustrombereich der Zufuhrleitungsanordnung (52) angeordnet ist und die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) in einem Ausstrombereich der Zufuhrleitungsanordnung (52) angeordnet ist.

## 3. Kryogenes Verbrauchssystem gemäß Anspruch 2, wobei der Strom an kryogener Flüssigkeit in den Strömungsbereich von der Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) zu der Entlüftungsanordnung (58) im Gegenstrom zu dem Strom an kryogener Flüssigkeit in der Zufuhrleitungsanordnung (52)

strömt.

4. Kryogenes Verbrauchssystem gemäß Anspruch 1, wobei die Steueranordnung (56) und die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) versehen sind mit:

einem beweglichen Balg (66);

5. einer Umhüllungsanordnung, welche den Balg (66) umgibt;

einer Anordnung (67, 68) zum Anlegen eines Referenzdrucks in einem Bereich (70) zwischen der Umhüllungsanordnung und dem Bald (66); und

einer Anordnung (64) zum Steuern eines Druckzustands innerhalb des Balgs (66), wobei der Druckzustand von der Temperatur der kryogenen Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal abhängt,

10. wobei das Ventil (72, 73, 76, 78) mit dem Balg (66) verbunden ist.

5. Kryogenes Verbrauchssystem gemäß Anspruch 4, wobei die Anordnung zum Steuern des Druckzustands innerhalb des Balgs (66) versehen ist mit:

einer Dampfdruckkühlvette (64), die in Verbindung mit der kryogenen Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal angeordnet ist und ein gasförmiges Volumen der kryogenen Flüssigkeit enthält, das in direkter Gasverbindung mit einem Innenbereich (70) des Balgs (66) in Verbindung steht, wobei eine Veränderung des Dampfdrucks dieses Volumens in Ansprechen auf eine Temperaturänderung der kryogenen Flüssigkeit ein Ausdehnen oder ein Zusammenziehen des Balgs (66) gegen den Referenzdruck bewirkt.

6. In-Line-Unterkühlungsvorrichtung mit:

20. einer Zufuhrleitungsanordnung (52) mit einem Zufuhrkanal zum Transportieren einer kryogenen Flüssigkeit zu einem Auslass (63) unter einem erhöhten Zufuhrdruck;

einer Unterkühlungsleitungsanordnung (54), die angeordnet ist, um die Zufuhrleitungsanordnung (52) über einen wesentlichen Abschnitt ihrer Länge zu umgeben und dazwischen einen Strömungsbereich (80) zu erzeugen;

25. einer Entlüftungsanordnung (58), welche den Strömungsbereich (80) mit einem Bereich verbindet, dessen Druck niedriger als der Zufuhrdruck ist;

30. einer Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78), welche den Strömungsbereich (80) und den Zufuhrkanal der Zufuhrleitungsanordnung (52) verbindet, um einen gesteuerten Strom der kryogenen Flüssigkeit von dem Zufuhrkanal in den Strömungsbereich (80) zu ermöglichen, wobei kryogene Flüssigkeit, die von dem erhöhten Zufuhrdruck zu dem niedrigeren Druck strömt, dazu gebracht wird, zu expandieren und kryogene Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal zu kühlen; und

35. einer Steueranordnung (56), die mit der Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) verbunden ist und auf Temperaturänderungen der kryogenen Flüssigkeit an dem Auslass (63) anspricht, um die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) zu steuern, um einen Strom an kryogener Flüssigkeit durch den Strömungsbereich (80) zu verändern, um die kryogene Flüssigkeit bei einer konstanten Ausstromtemperatur zu halten,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) ein Ventil (72, 73, 76, 78) umfasst, das in einer Öffnung angeordnet ist, die sich in der Wand des Zufuhrkanals befindet und den Zufuhrkanal mit dem Strömungsbereich (80) verbindet, wobei das Ventil radial bezüglich des Zufuhrkanals betätigbar ist, um den Strom an kryogener Flüssigkeit von dem Zufuhrkanal in den Strömungsbereich (80) zu steuern.

7. In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß Anspruch 6, wobei die Entlüftungsanordnung (58) in einem Zustrombereich der Zufuhrleitungsanordnung (52) angeordnet ist und die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) in einem Ausstrombereich der Zufuhrleitungsanordnung (52) angeordnet ist.

8. In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß Anspruch 7, wobei der Strom an kryogener Flüssigkeit in den Strömungsbereich von der Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) zu der Entlüftungsanordnung (58) im Gegenstrom zu dem Strom an kryogener Flüssigkeit in der Zufuhrleitungsanordnung (52) strömt.

9. In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß Anspruch 8, wobei die Steueranordnung (56) und die Ventilanordnung (72, 73, 74, 76, 78) versehen sind mit:

einem beweglichen Balg (66);

einer Umhüllungsanordnung, welche den Balg (66) umgibt;

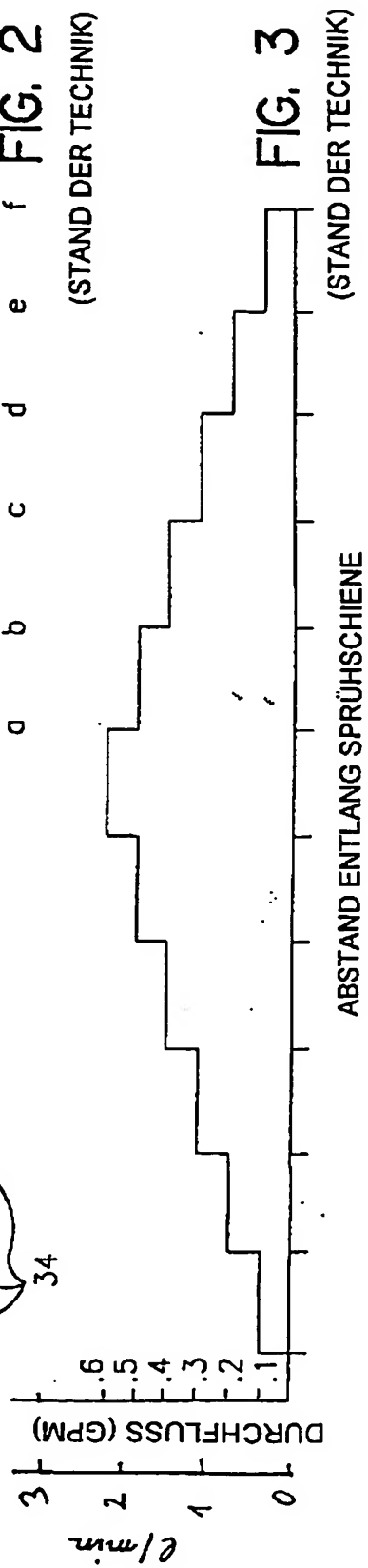
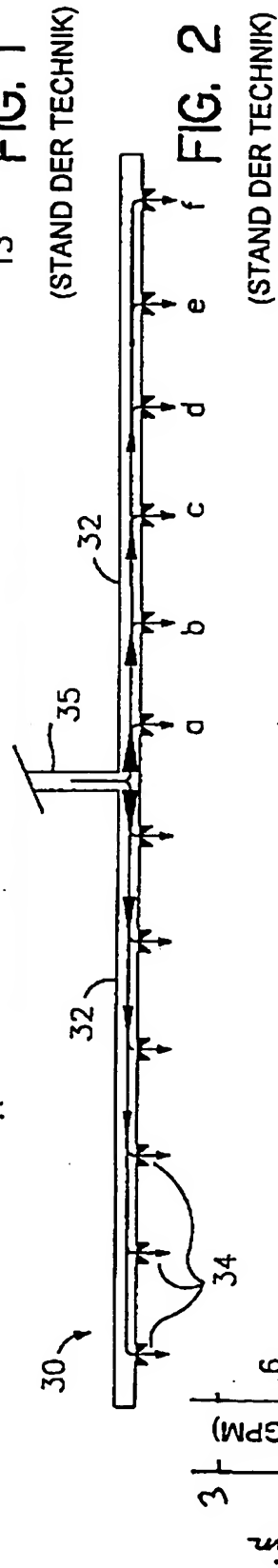
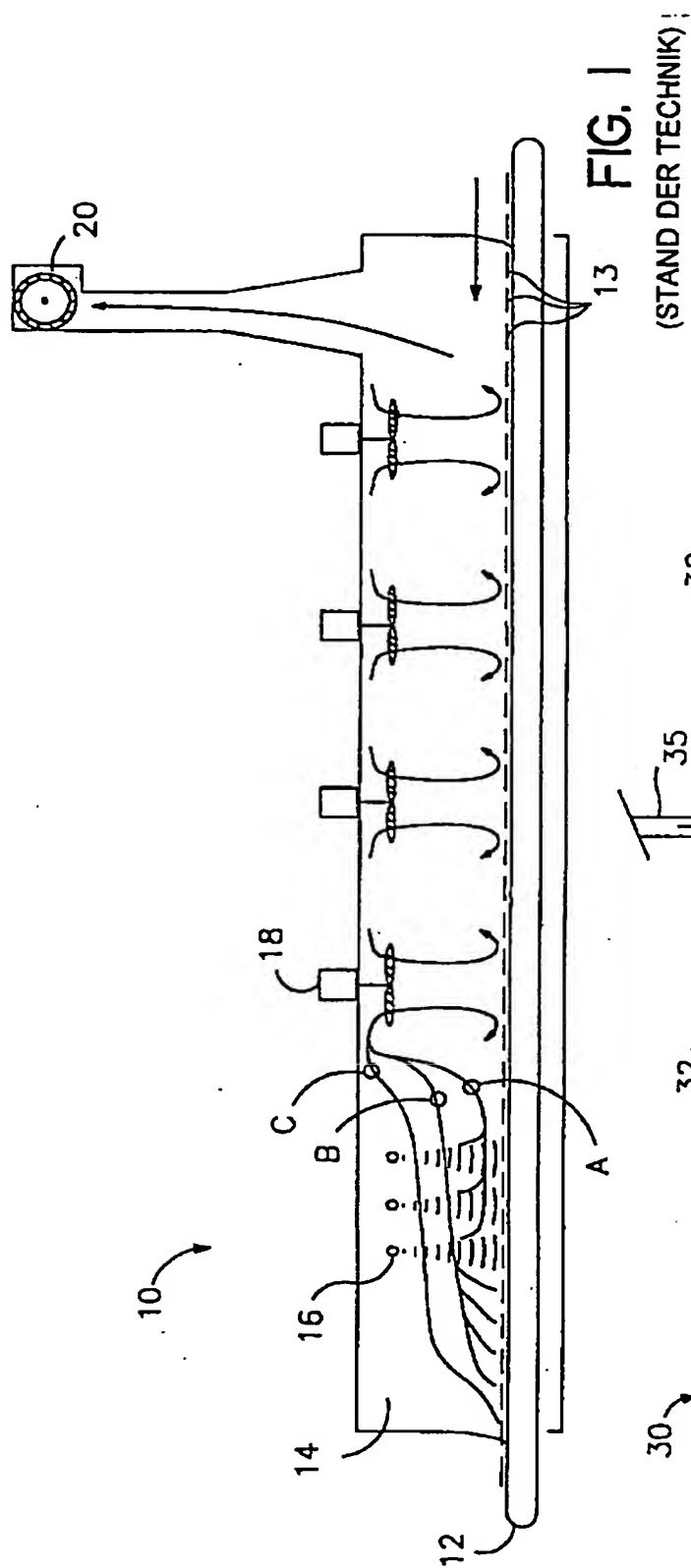
einer Anordnung (67, 68) zum Anlegen eines Referenzdrucks in einem Bereich (70) zwischen der Umhüllungsanordnung und dem Balg (66); und

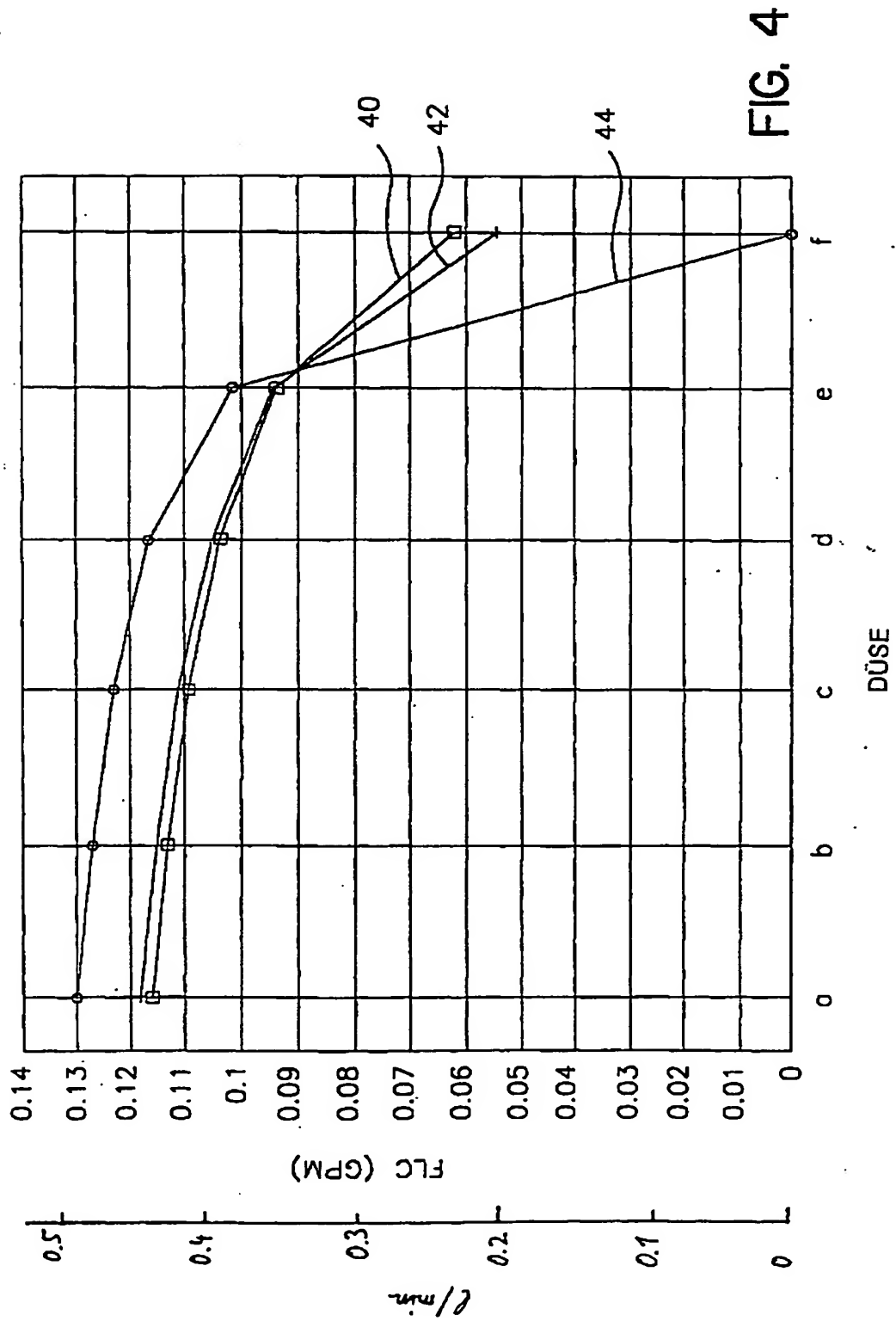
einer Anordnung (64) zum Steuern eines Druckzustands innerhalb des Balgs (66), wobei der Druckzustand von einer Temperatur der kryogenen Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal abhängt, und wobei das Ventil (72, 73, 76, 78) mit dem Balg (66) verbunden ist.

10. In-Line-Unterkühlungsvorrichtung gemäß Anspruch 9, wobei die Anordnung (64) zum Steuern des Druckzustands innerhalb des Balgs (66) versehen ist mit:

einer Dampfdruckkivette (64), die in Verbindung mit der kryogenen Flüssigkeit in dem Zufuhrkanal angeordnet ist und ein gasförmiges Volumen der kryogenen Flüssigkeit enthält, das in direkter Gasverbindung mit einem Innenbereich (70) des Balgs (66) in Verbindung steht, wobei eine Veränderung des Dampfdrucks dieses Volumens in Ansprechen auf eine Temperaturänderung der kryogenen Flüssigkeit ein Ausdehnen oder ein Zusammenziehen des Balgs (66) gegen den Referenzdruck bewirkt.

21.10.00





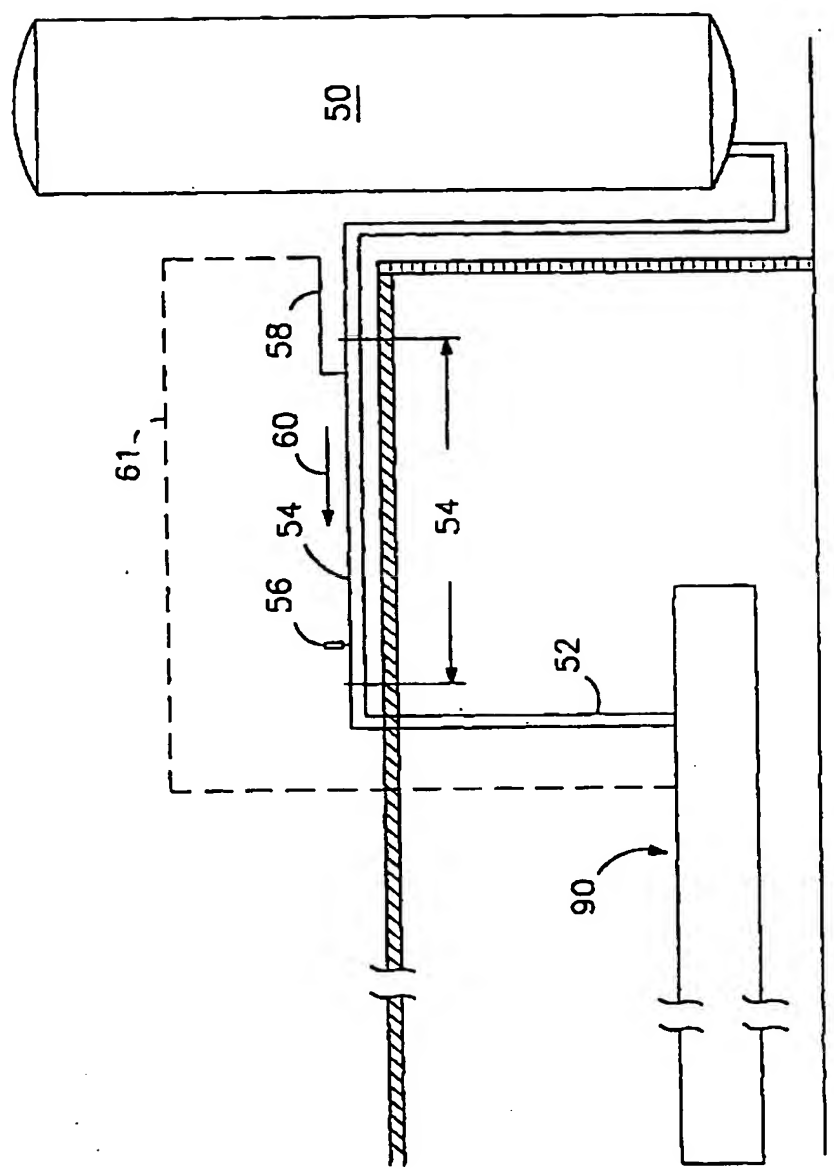


FIG. 5

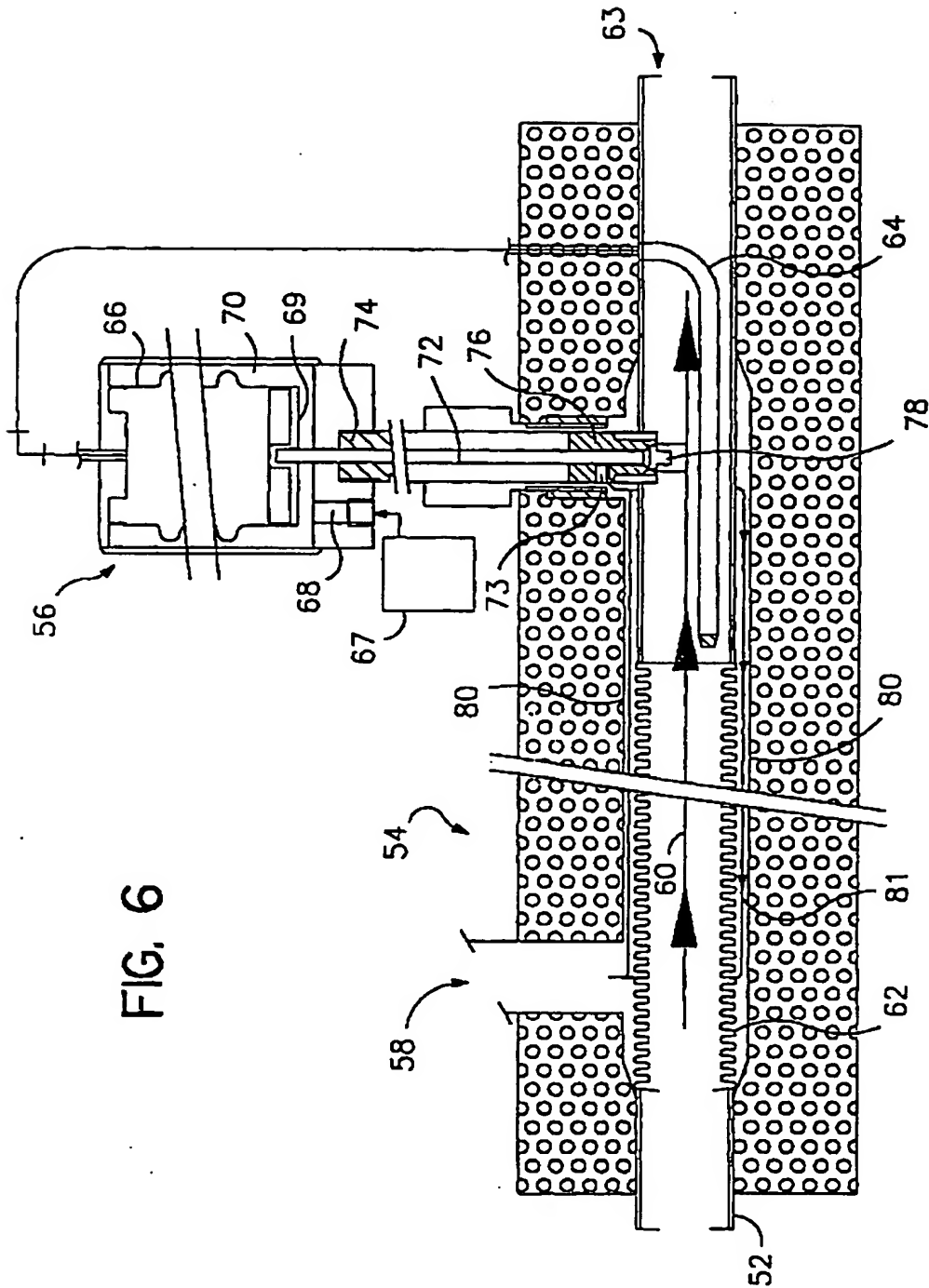


FIG. 6